

## リーフ上の漁港構造物設計の考え方と課題

業務名	漁港構造物設計の手引作成業務（13-560）
委託者	沖縄県
担当者	滑川順、（佐藤勝弘）

### 1. 調査の目的

沖縄県では、高波浪時に発生するリーフ上の特異な波浪・水理現象（波浪・流れ、サーフビート（波群津波））を考慮に入れた設計指針を確立することを目的とし、平成3年から平成9年度までリーフ上の波浪観測を行い“リーフ上における波高・水位上昇量算定式中の各係数の見直し”、“天端高・防波堤に作用する波圧算定においてサーフビート効果の導入”等を行い、「漁港の技術指針（1999年版）」（黒本（1999））に取り入れられ、実設計に使用されている。

また、従来の設計法ではサーフビートを取り入れた場合の波圧算定式はなく、設計波高として短周期波高とサーフビートの波高の最大値をエネルギー合成した波高を用いて従来の波圧算定式を使用する便宜的な方法を用いており、今後の課題として残っていた。このことから、平成11年から平成12年度には水理模型実験により、リーフ上の波浪特性と波圧特性の関係を明らかにすると共にサーフビートの影響を考慮した波圧算定の検討を行い、“その作用波力は短周期成分・長周期成分の各成分に分けそれぞれに算定し、同時性を考慮したそれらの和として求められることが分かり、従来法に比べ合理的な波圧算定式の提案”が行なわれた。この成果はリーフ上の構造物設計時の波力算定法として設計指針あるいは設計手引きに取り入れられ、実設計での利用が始まるものと期待される。

ここで、黒本（1999）に基づく設計法（現行設計法）と新提案の波圧算定式による漁港構造物の設計（新設計法（案））について、特にサーフビートの取扱いについて、工種別に整理し具体的に示すとともに、実設計における課題についても示したものである。また、現在、湾すじや航路等の影響を受ける港口部でのリーフ上における波高・水位上昇量の算定式の適用性や港内サーフビートの取扱いが明確でなく、港口部での入射波高並びに港内サーフビートを適切に算定できないことから、港内施設の設計について、統一が図られていない状況がみうけられることから、港内施設の設計についての問題点を整理し、設計にあたっての基本的な考え方（仮定）に基づいた運用上の取り決めの提案を行なった。

### 2. 現行設計法と新設計法（案）

現行設計法は黒本（1999）の波圧算定式に基づくもので、新設計法（案）は平成11～12年度調査により提案される波圧算定式による新しい設計法に基づくものである。

現行設計法と新設計法（案）での、設計条件（設計波、設計水位）、天端高算定、波圧算定法に関して、各工種での取扱い指針・基準と考え方および課題を表-1に示した。

現行設計法と新設計法（案）の概要は下記のとおりである。

#### 【現行設計法】

- ・リーフ上の波浪変形は、平成3年～9年にリーフ上の波浪の現地観測を行い、「漁港構造物標準設計法（1990年版）」（旧黒本（1990））の波高および水位上昇量の算定式を「黒本（1999）」記載のとおり修正した算定式により算出する。
- ・サーフビートは、換算沖波波高（ $H_0'$ ）5mの場合に影響を考慮するものとし、サーフビートの最大波高（ $H_L$ ）の1/2を考慮し漁港施設の天端高を決定するものとする。
- ・波圧強度については、従来の設計法では長周期波を考慮した波圧算定式がないため、サーフビート

の最大波高 ( $H_L$ ) とリーフ上の波浪変形による短周期波の波高 ( $H_I$ ) のエネルギー合成波高 ( $H'$ ) を用いて、直立壁前面の水深により砕波領域あるいは重複波領域に区分し、通常の海岸における波圧算定式 (広井式、サンフルー式) をそのまま適用する。

【新設計法 (案)】

- ・波圧強度は短周期波の波高 ( $H_I$ ) とサーフビート (長周期波) の振幅の標準偏差 ( $\sigma$ ) により、個々に算定した短周期成分、長周期成分の波圧の重ね合わせとして算定する。
- ・サーフビートについては換算沖波の波高 ( $H_0'$ ) の大きさに関わらず考慮する。
- ・波圧算定式は、直立壁前面の水深による砕波領域あるいは重複波領域の区分は行わずに同一の波圧算定式を適用する。

3. 港内施設設計の取り決め (案)

リーフ上の漁港構造物の設計においては、「漁港の技術指針 (1999年版)」(黒本 (1999)) に基づき、サーフビート (長周期波) を考慮するものであるが、港口部の波高並びに港内のサーフビートを適切に算定できないことから、港内施設の設計については、次の考え方 (仮定) に基づいた取り決め (案) を持って運用することが考えられる。

なお、現在は港内サーフビートの適切な算定を行うための条件設定や適切な算定方法等が明らかでないが、これは、港内水理の観測調査等を実施することでこと解明されるものである。

【港内施設設計の基本的な考え方】

- ① 港内の水位上昇量はリーフ上の波高、水位の算定式で求まる値とする。(黒本 (1999))

$$\text{設計水位} = H.W.L + \sigma_1 + \sigma_2$$

水位上昇は局所的な現象ではなく、港外、港内とも同様に生じるものとする。

- ② リーフ奥の湾筋や航路に位置する港口部での算定式の適用性や港内のサーフビートの取扱いについては明確でないので、経験的資料による安全性の確認ができない場合は現地観測や水位模型実験等を勘案して決定するものとするが、それに寄り難い場合の施設設計は、適切な評価や取扱いが行える場合よりも安全側のものとなることを原則とする。

例えば、 $H_{1999} = (H_I^2 + H_L^2)^{1/2} > H_{1990}$

$H_{1999}$  : 「黒本 (1999)」のリーフ上の波高・水位の算定式による波高:  $H_I$  とサーフビートの波高:  $H_L$  の合成波高

$H_{1990}$  : 「旧黒本 (1990)」のリーフ上の波高・水位の算定式による波高

詳細な検討や適切な取扱いと評価を行うことで、より無駄の無い (経済的な) 断面となる。

- ③ 次の場合には、既存施設の設計等に用いた方法 (例えば、「漁港構造物標準設計法 (1990年版)」(旧黒本 (1990))) により設計波高を算定してよい。

- ① 既設施設の被災等の経験的資料から施設安全性が確認できる場合
- ② 港口域の地形 (航路や湾すじ等) や経験的資料により判断し、黒本 (1999年) の算定式の適用が不相当と判断される場合
- ③ 施設の安全設計において、短周期波の寄与が明らかに重要な場合 (例えば、浮棧橋の構造設計) や長周期波の影響評価が不明な場合 (例えば、港内静穏度)

航路や湾すじ等の影響を受けるような港口域においては、黒本 (1999) のリーフ上の波高算定式の適用性は不明であり、実情に則さない危険性が大きい。

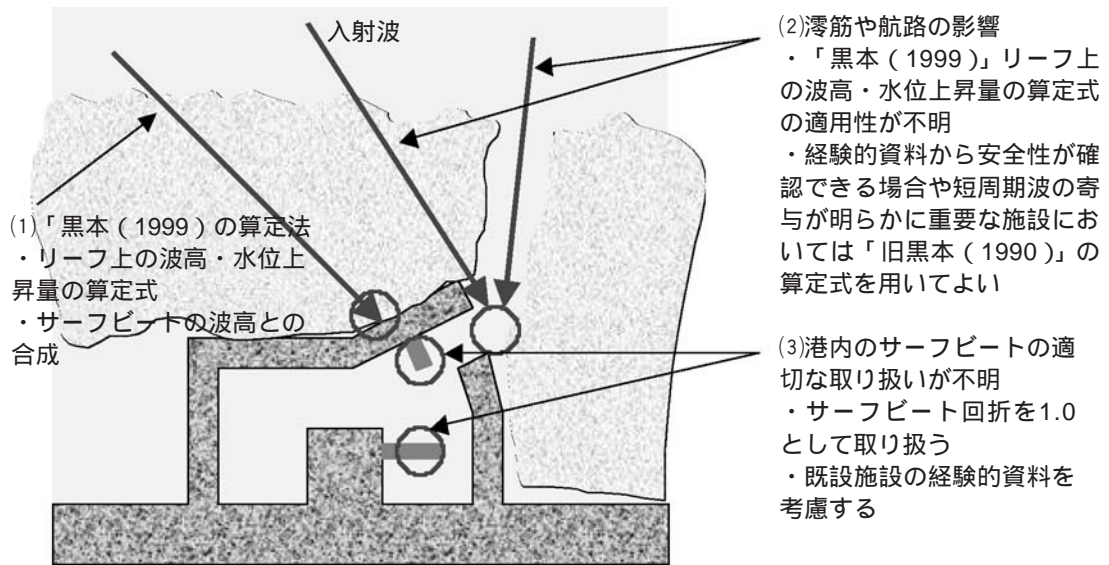
- ④ サーフビートの影響も考慮する必要がある施設 (例えば、港口に近く、外郭防波堤と同様の条件下にある波除堤) の設計ではサーフビートと黒本 (1999) から求まる短周期波の波高のエネルギー合成波高を用いることとするが、3. の①、②に述べた状況を考慮し、旧黒本 (1990) の算定式

(係数)による波高を用いてもよい。

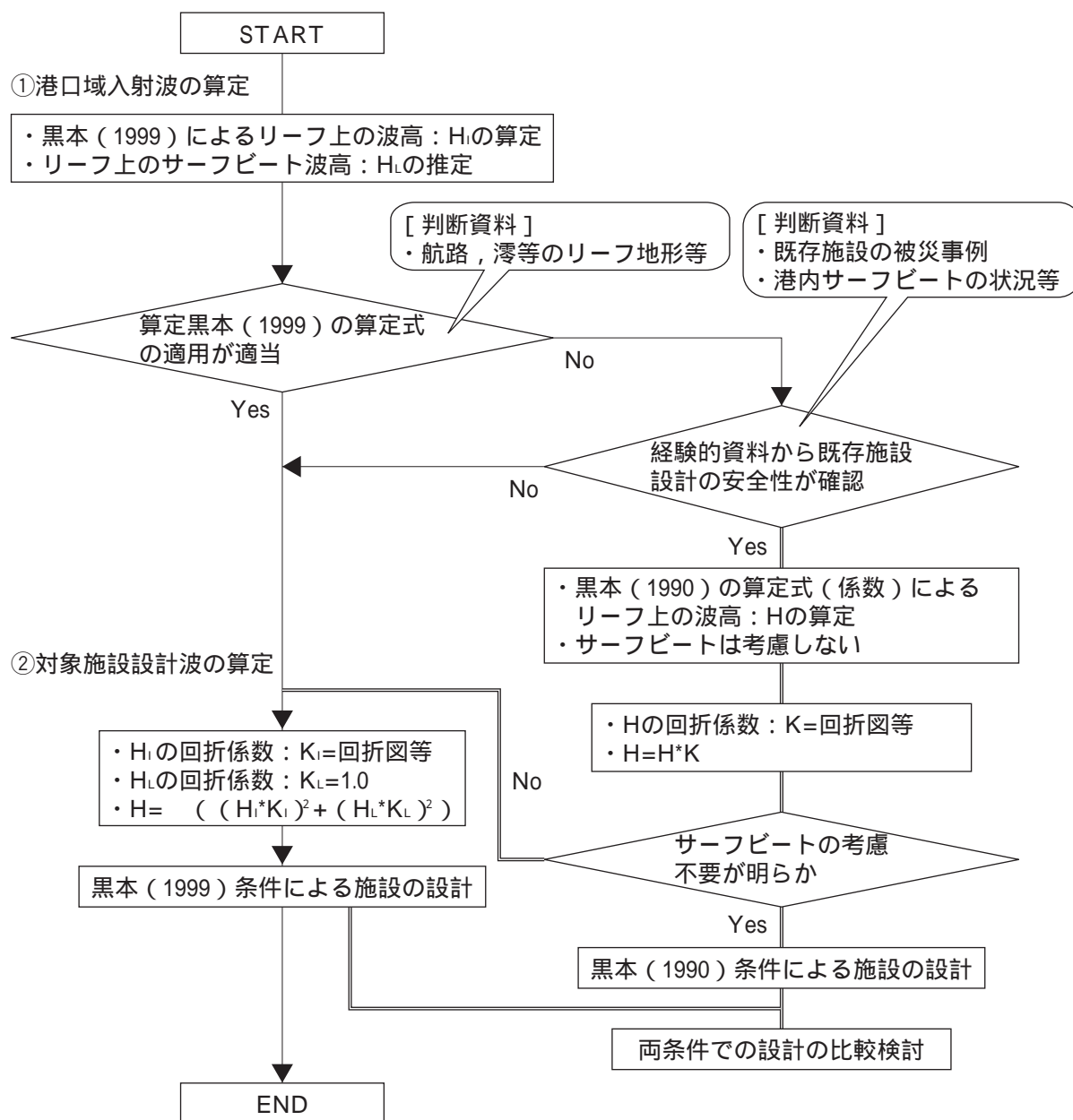
但し、旧黒本(1990)による波高を用いる施設設計(安定検討)を行なう場合には、黒本(1999)による合成波高での検討も併せて行い、その差異を明確にしておくこととする。

【留意点】

- ・黒本(1999)のリーフ上の波高・水位の算定式は、リーフ域について現地観測を行い、その結果を基に、旧黒本(1990)の係数を見直したものであり、港口部のような航路や湾すじの影響を受ける域における適用性は不明である。また、リーフ奥での波高は旧黒本(1990)での算定式による波高より50%程度低くなり、実状に則さない場合もある。
- ・黒本(1999)の設計法ではサーフビートを考慮した波圧算定ができないため、便宜的にリーフ上の波浪変形により求まる波高： $H_L$ とサーフビートの推定波高： $H_L=0.15H_o'$ の合成波高： $H=(H_L^2+H_L^2)$ を用い、通常の海岸での波圧算定式を適用している。
- ・換算沖波波高： $H_o' \leq 5$  mの場合にサーフビートを考慮するものとし、天端高の決定において $0.5 \times H_L$ を設計潮位に加え、安定計算においては上記の合成波高： $H=(H_L^2+H_L^2)$ と波圧の作用高に $0.5 \times H_L$ を加えることで考慮されるが、港内のサーフビートは、回折や港内共振や反射等の算定、評価方法が明らかでなく、合理的な算定ができない。



港内施設の設計域と考え方の模式図



設計条件の検討フロー

#### 4. 今後の課題

現行計法では便宜的に短周期波とサーフビートの最大波高の合成波高を波圧算定に用いることで考慮していたサーフビートの影響について、新設計法(案)ではサーフビートを取り入れた波圧算定式により、リーフ上構造物設計の課題であるサーフビートの波圧(堤体の安定)に及ぼす影響を合理的に考慮できると言える。

一方、新設計法(案)においても、現行設計法から引き続いて、港内施設の天端高算定や安定計算、港内静穏度の検討評価におけるサーフビートの取扱い、湾すじや礁池等の複雑なリーフ地形におけるリーフ上の波の変形の算定式の適用性等が課題として残っている。

今度のリーフ上の漁港施設設計、特に港内施設設計における主な課題をとりまとめると次のとおりである。

- ①リーフ上における波高・水位上昇量の算定
  - ・リーフ上における波高・水位上昇量算定式の複雑なリーフ地形への適用範囲
  - ・数値計算によるリーフ上の波及び水位上昇量算定の適応性と汎用性の検証
- ②サーフビートの取扱い
  - ・新設計法で用いるサーフビートの振幅  $r_{ms}$  の算定式の妥当性、適用性
  - ・サーフビートの最大波高  $H_L$  とサーフビートの標準偏差  $r_{ms}$  の関係の整合性
- ③港内のサーフビート
  - ・港内サーフビートの施設設計並びに港内静穏度（漁港利用）に及ぼす影響
  - ・港内サーフビートの算定法と必要な諸元（周期、構造物の反射率等）の設定法
- ④その他
  - ・消波工（直立消波）の波圧低減効果の考え方

## 5. 成果の活用

本調査により、リーフ上の漁港構造物設計における現行設計法と新設計法（案）での波浪、特にサーフビートの取扱いの違いを明確に示すと共に、現行設計法に基づき設計が行なわれている現段階で、その取扱いが不明確であった港内施設設計におけるサーフビートの取扱いについて、統一的な考え方に立った運用上の取り決めを提案した。また、新設計法の利用についても、解決を要する課題を明らかにした。

これらの成果により、新設計法の円滑な導入に利用されると共に、現状での港内施設の実設計基準の統一が図られるものと期待される。なお、新設計法においても、汎用的な利用のための課題が明らかにされたことにより、その解明の調査研究が進められることが期待される。

本調査を遂行するに当たり、検討会で、琉球大学工学部 津嘉山正光教授、東京大学大学院 磯辺雅彦教授、水産工学研究所水理研究室 中山哲巖室長、並びに沖縄県総合事務局、沖縄県農林水産部漁港課の関係各位に有益なご意見やご指導を頂いた。



表 - 1(2) リーフ上の構造物の設計の課題と考え方

工種	項目	現行設計法	考え方(案)	適用に当たっての問題	考え方(案)	新設計法(案)	合理的に適用するための課題
II 1 港内除根施設	(1) 潮位	指針・基準 防波堤に同じ	指針・基準のとおりに同じ	防波堤に同じ	新設計法の防波堤に同じ	新設計法の防波堤に同じ	防波堤と同じ
	(2) 波浪	① 港口域入射波 防波堤に同じ	指針・基準のとおりに同じ	黒本(1999)の算定式によるリーフ奥での波高は旧黒本の算定式による値の50%程度低く算定される。	新設計法の防波堤に同じ	新設計法の防波堤に同じ	防波堤と同じ
		② 施設域波浪 指針・基準なし	指針・基準のとおりに同じ	港内のサーフビートの共振等の影響を評価するために適用する算定法	・ 港内のサーフビートの共振等の影響を評価するために適用する算定法 ・ サーフビートの波高 ・ サーフビートの代表周期の設定 ・ 構造物の反射係数の設定	・ 短周期波波高: $K_r \cdot H$ ・ 短周期波は回折を考慮 ・ サーフビートの波高 ・ 港内共振や反射波の影響を考慮し算定するものとする ・ 港内の共振や反射波の影響が軽微な場合は回折係数を1として算定して良い	・ 港内のサーフビートの共振等の影響を評価するために適用する算定法 ・ サーフビートの代表周期の設定 ・ サーフビートのスペクトル形状の設定 ・ 構造物の反射係数の設定
	(3) 天端高	係船岸に隣接している場合隣接係船岸の天端高とする。 上記によりがたい場合は、防波堤の天端高を標準とするが、周辺施設の天端高も考慮して決定する。 指針・基準なし	指針・基準のとおりに同じ	-	指針・基準のとおりに同じ	現行設計法に同じ	-
2 岸壁	(4) 波圧算定	指針・基準なし	防波堤に同じ (合成波高を用いる)	・ 短周期波の回折を考慮しても、サーフビートの減衰がないとすると、港内での波圧算定に用いる波高の差が小さくなる。 防波堤と同じ	新設計法の防波堤に同じ	新設計法の防波堤に同じ	・ 堤内外でのサーフビートによる水位差の評価と算定方法
	(1) 潮位	防波堤に同じ	指針・基準のとおりに同じ	防波堤と同じ	新設計法の防波堤に同じ	新設計法の防波堤に同じ	防波堤と同じ
	(2) 天端高	岸壁の天端高は、一般には潮位及び利用漁船等の船型、利用方法を調査して決定する。 なお、天端高は港内における頻度の高い波浪、異常潮位等によって岸壁上に海水が浸入することもあるので十分に留意して決定する。 防波堤に同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	・ 港内サーフビートの扱いについて、波除堤と同じ
	(3) 天端高	I. 2. 護岸に同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	防波堤と同じ
3 護岸	(1) 潮位	HHWLを考慮するものとする	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	防波堤と同じ
	(2) 波浪	指針・基準なし	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	防波堤と同じ
	(3) 天端高	強度計算に用いる波高 $H_{max} = 1.86H$ $H = K_r \cdot H$	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	防波堤と同じ
	(4) 浮体の強度計算	流れは通常考慮しなくて良いが、河口に設置する場合や潮流等の影響が大さい場合には考慮するものとする。 指針・基準なし	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	防波堤と同じ
III 共通	1 捨石等の計算に用いる波高	指針・基準なし	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	・ サーフビートによる流体力の取扱い
	2 静穏度を判断する波高	指針・基準なし	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	指針・基準のとおりに同じ	・ 段波状サーフビートの波力の取扱い ・ サーフビートの算定方法 ・ サーフビートの静穏度に及ぼす影響の評価方法と基準